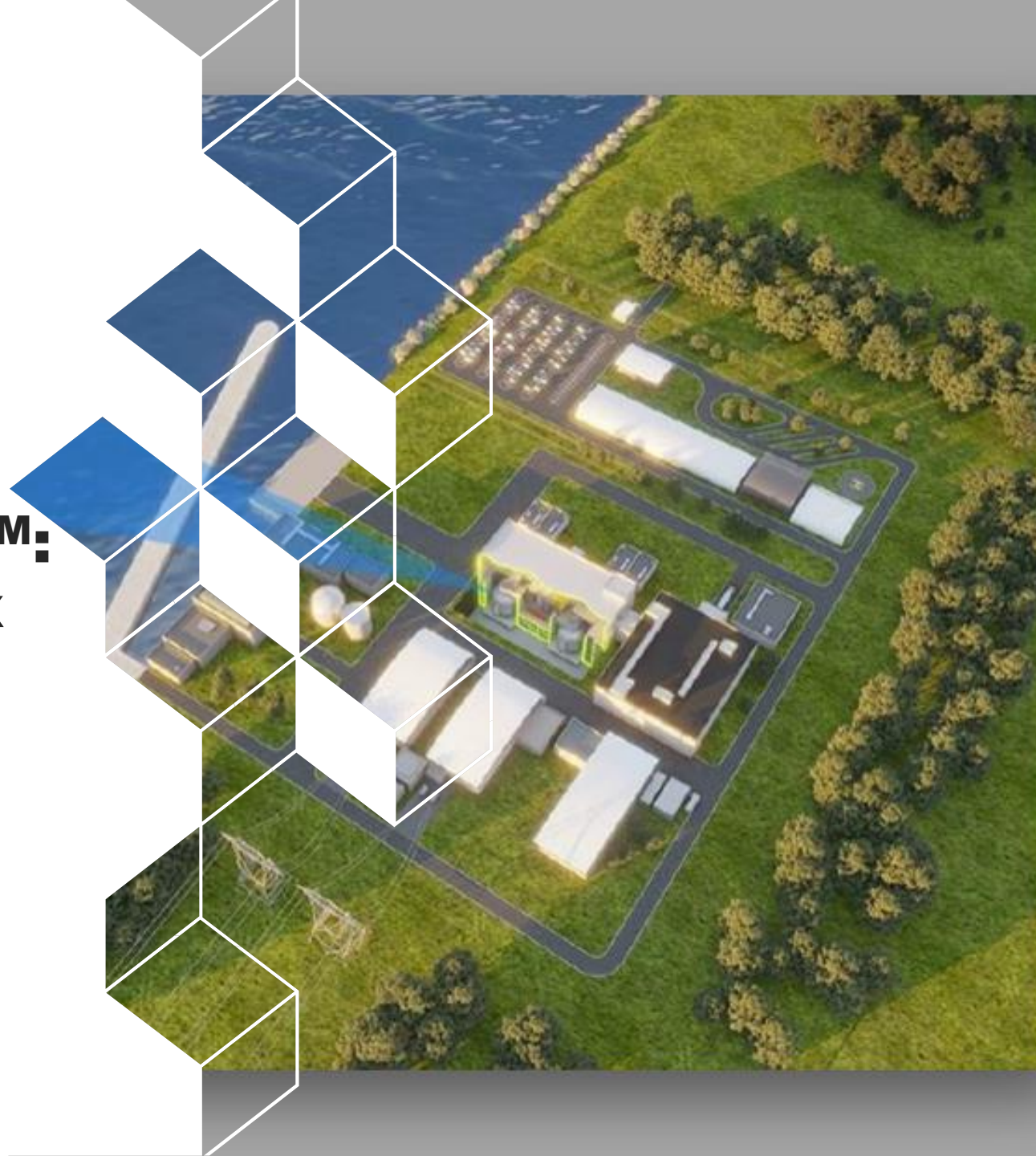




Le projet de SMR Nuward™: Caractéristiques et enjeux technologiques

Eric HANUS
(chef de projet COSMR)





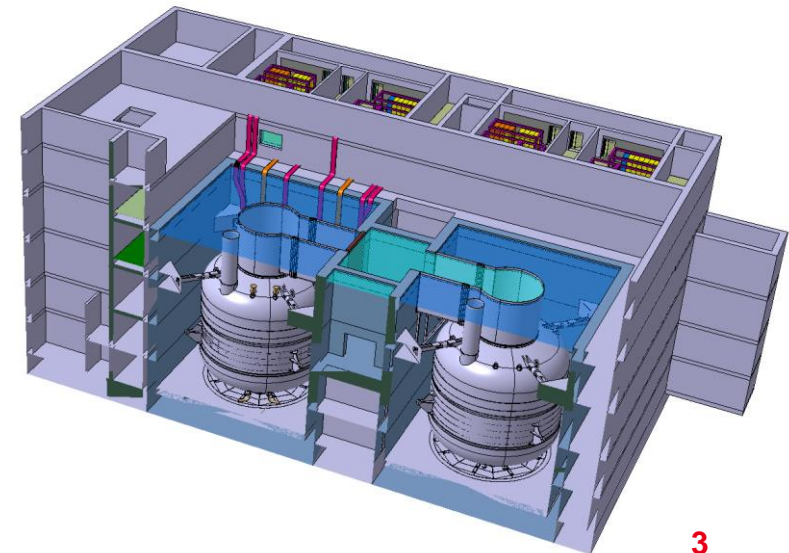
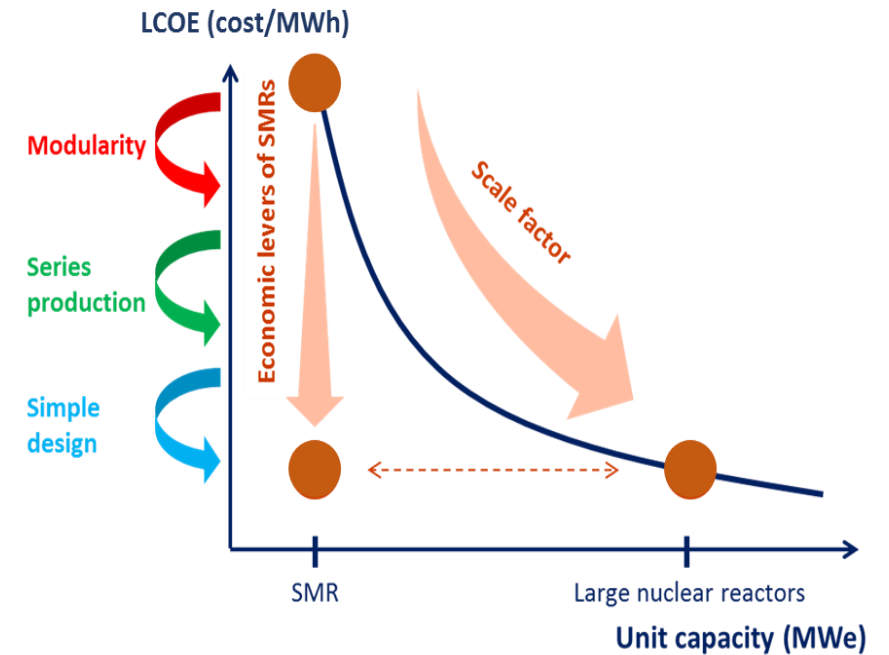
1

SMR: éléments de contexte

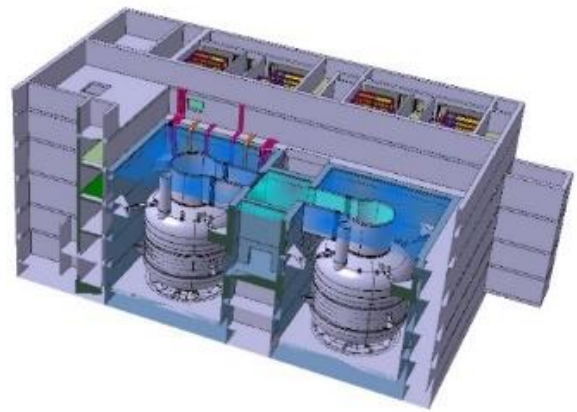


Les Small Modular Reactors – Petits réacteurs modulaires / quels avantages ?

- **Faible puissance permettant une conception simple et sûre**
 - Architecture compacte et simplifiée
- **Un réacteur modulaire, pour une construction plus simple**
 - **Modules** en nombre limité, (pré)fabriqués et testés en **usines spécialisées**
 - **Réduction des contraintes** de construction
 - **Réduction de la durée** de construction sur site
- **Pour une production nucléaire nécessitant de moindres investissements**
 - **Investissement plus facile** pour un réacteur, frais financiers réduits
 - la production des **premiers** réacteurs **finance** la construction des **suivants**
 - **Production « continue »** des installations avec plusieurs modules (arrêts réacteurs)
- **Pour une intégration dans les réseaux et un multi-usage**
 - Du réacteur isolé à la **centrale multi réacteur**
 - **Production flexible d'électricité** adaptée à l'émergence des ENR
 - **Autres usages** : vecteur H2, dessalement, chaleur urbaine, chaleur industrielle



Contexte français: “Réacteurs nucléaires innovants”



Une initiative dotée de 1 Md€ sur 10 ans pour développer l’offre française de SMR:

- NUWARD
- AAP lancé le 2/3/22 pour créer une dynamique DeepTech nucléaire en France, transition énergétique
 - faire émerger de nouveaux acteurs
 - faire émerger de nouvelles idées (usages, sûreté, matières et déchets)



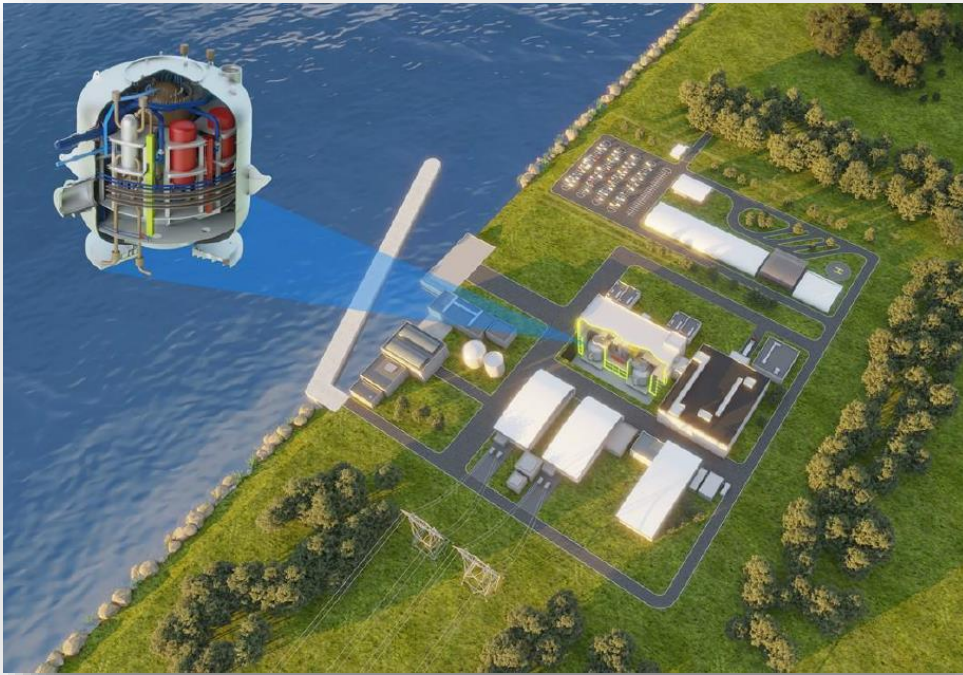
CEA dans un rôle d’appui technique et scientifique



2

SMR: Le projet industriel NUWARD SMR

Le projet NUWARD SMR



Cible Commerciale

- Adapté à l'export (cible 300-400MWe: centrales fossiles), standard sûreté Gen3+
- Flexibilité d'implantation accrue (15ha) / réacteurs de grande puissance
- Cogénération prévue dès le design (H2, chaleur urbaine, dessalement, capture CO2)
- Durée construction visée 40 mois en série

Design Optimisé

- Puissance nominale: 340 MWe (2 chaudières de 170 MWe)
- Conception intégrée avec gestion en eau claire
- Sûreté passive
- Enceinte immergée en piscine, Construction partiellement enterrée
- Conception et construction modulaires

Partenariats Industriels

- Filière nucléaire française: EdF, CEA, TA, Naval Group, Framatome
- Partenaire européen: Tractebel

Partenaires NUWARD™

Ingénierie
Construction
Opération

- 67 réacteurs en operation
- 3 réacteurs en construction
- 8 nouveaux réacteurs en développement
- + 2,000 années-réacteur d'expérience
- + 50,000 collaborateurs dans le nucléaire

Recherche
Développement &
Innovation

Conception
navale,
développement et
fabrication



Design,
construction, mise
en service de
réacteurs nucléaires
compacts

Conception et
fourniture de
chaudières nucléaires,
services et
combustible

Bureau international d'études en ingénierie
et concepteur d'installations nucléaires

International NUWARD™ Advisory Board (INAB)

Création du comité consultatif international NUWARD™ (**International NUWARD™ Advisory Board – INAB**) rassemblant des représentants hautement qualifiés du monde de l'industrie et de la recherche, qui aura pour fonction d'apporter des conseils sur le développement de NUWARD™.



POLITECNICO
MILANO 1863



TATA CONSULTING ENGINEERS LIMITED



NUWARD SMR fait l'objet d'une pré-évaluation conjointe par 6 Autorités de sûreté européennes

Bilan de la phase 1 :

- Cadre d'échange unique sur un **cas concret de SMR** en cours de développement
- **Accroissement des connaissances** sur NUWARD SMR et sur les attentes des régulateurs de chaque pays impliqué
- Mise en évidence d'**attentes de haut niveau convergentes** entre régulateurs avec sur certains sujets des **différences dans leur déclinaison**



Enjeux de la phase 2 :

- **Elargir le partage de connaissances** sur d'**autres thèmes** techniques et avec d'**autres pays** européens clés pour le développement de NUWARD SMR
- Itérer sur les modalités possibles de **prise en compte** par NUWARD des **différentes attentes** exprimées, avec **une conception** sûre, simple et largement déployable en Europe



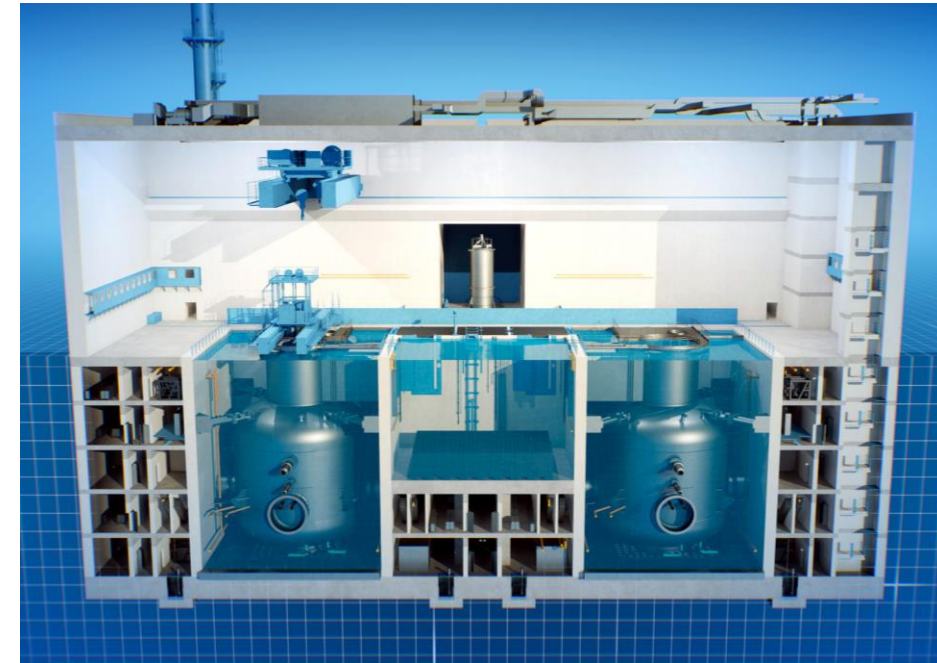
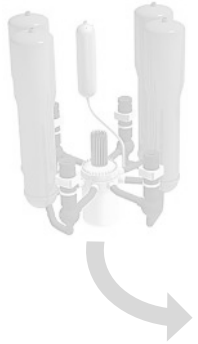
Promouvoir des approches centrées sur l'atteinte des objectifs de sûreté, moins prescriptives
Développer les conditions pour l'acceptation d'un modèle dans plusieurs pays

Le produit NUWARD SMR

Un réacteur intégré...

...dans une enceinte métallique immergée dans un bassin d'eau

... installé dans un îlot nucléaire comprenant 2 réacteurs de 170MWe et une piscine d'entreposage

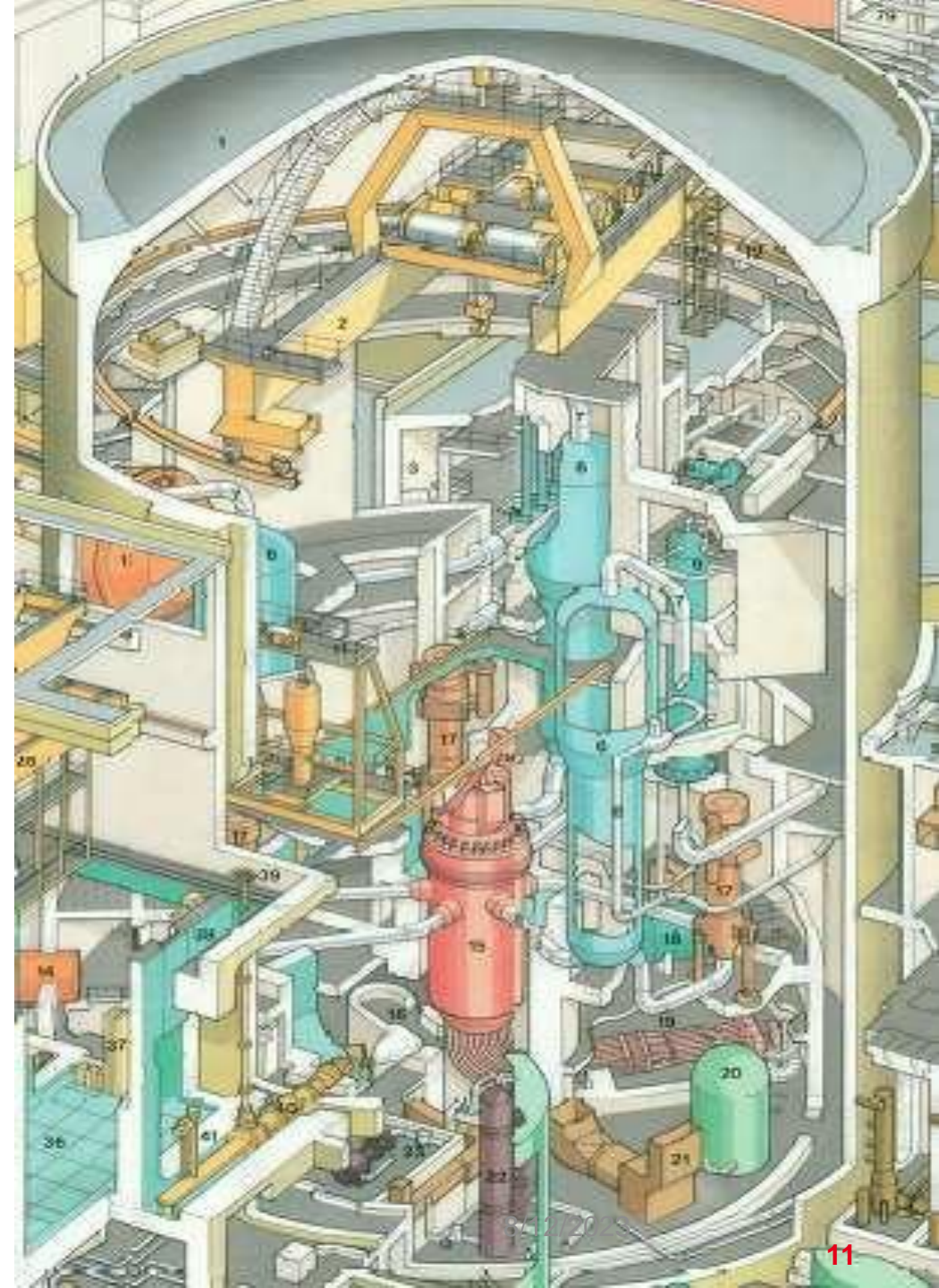
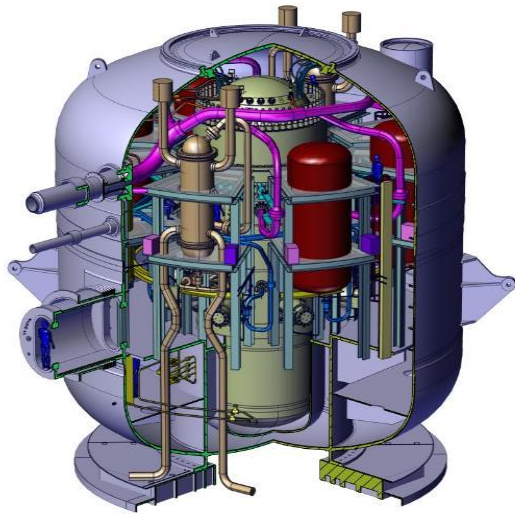


Une centrale de 340 MWe comprenant 2 réacteurs intégrés

SMR intégré NUWARD SMR versus REP 900 MWe

PWR 900 Containment :
 $\Phi_{\text{int}} 37 \text{ m} - \text{h: } 58 \text{ m}$

SMR reactor:
 $\Phi_{\text{int}} 15 \text{ m} - \text{h: } 17 \text{ m}$

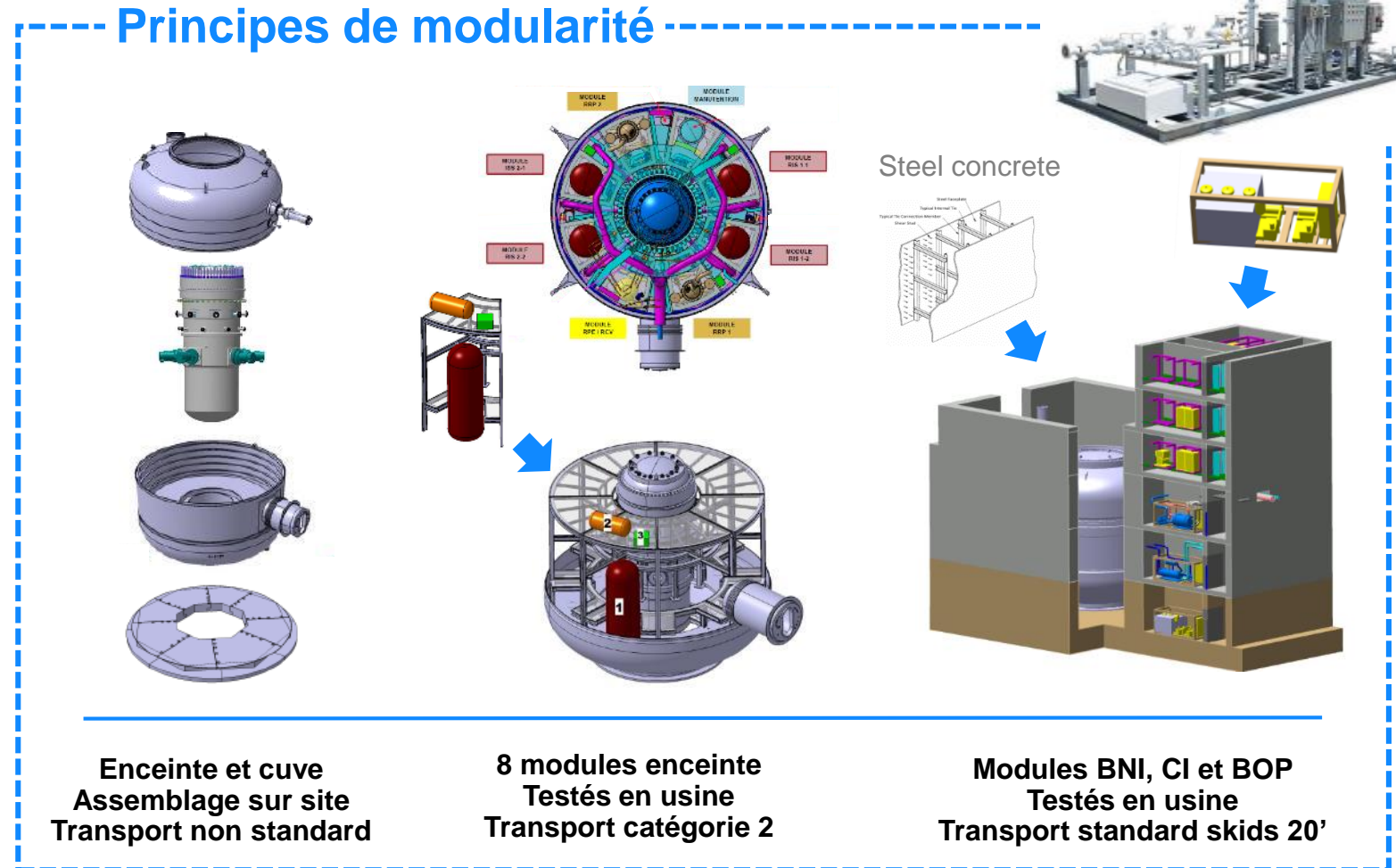


Modularité / standardisation

**Modularité / standardisation :
une approche intégrée dès la
phase de pré-APS.**

Etudes en cours pour confirmer les gains attendus par ces approches :

- Maîtrise industrielle ;
- Maîtrise du planning de développement et de construction ;
- Réduction des risques de montage sur site ;
- Réduction des coûts d'investissement et d'exploitation.





3

Contributions CEA au développement Nuward

Design et Manufacturing

Systemes de Sûreté (refroidissement passif):

- nouveau design pour le safety condenser avec des performances accrues en matière de sûreté.
- Optimisation du design des systemes de sûreté mis en œuvre dans les transitoires incidentels et accidentels.

Générateurs de Vapeur à Plaques:

- Etude sur l'influence de la chimie du circuit secondaire sur l'encrassement du GVP (modélisation et essais sur la boucle BEENCH).
- Retour d'expérience sur les procédés de fabrication impliqués pour le GVP (contribution DRT/LITEN).



Essais de fabrication par
Compression Isostatique à Chaud (DRT/LITEN)



Nouveau design du safety condenser



Boucle BEENCH



3.1 Contribution CEA: Focus Neutronique

Les enjeux de chaque phase pour l'activité neutronique

■ Pré-APS (2017 – 2019) : études de faisabilité

- REP sans bore soluble



100% PN en continu :
1 cycle décrit par une
vingtaine de calculs

■ APS (2019 – 2023) : préconception

- Rédaction des documents structurants (spécifications techniques de besoin, règles générales d'étude...) = Définition des **performances** à atteindre et des **seuils de sureté** à ne pas dépasser
- Études de plus en plus complexes (fonctionnement en base, puis DBC1, puis DBC2) afin de gagner en maturité sur le design
- Préparation de l'APD avec la mise au point d'outils de calculs plus précis, embarquant des **modèles spécifiques**, dédiés à NUWARD™

Domaine incidentel :
1 cycle décrit par $\approx 10^5$ calculs

■ APD (2023 – 2026) : conception

- Rendre le cœur industrialisable
- Études de sûreté : rédaction du RPrS (Rapport Préliminaire de Sureté = PSAR)

Variation de
puissance dans le
domaine de
fonctionnement
normal :
1 cycle décrit par
 ≈ 20.000 calculs



Effets de la faible taille du cœur

- **Effet positif : cœur moins sensible aux variations de puissance**
 - Dans un REP sans bore, le cœur est piloté par les mouvements des grappes de contrôle. À cause de l'effet du xénon, il peut être soumis à des oscillations de puissance.
 - Plus le cœur est petit, moins il est sensible à ces oscillations
=> opportunité de concevoir un **SMR sans bore**
 - En pré-APS, démonstration de la **faisabilité** de conception du **SMR sans bore soluble**
 - Simplification. Permet de simplifier les circuits autour du cœur, réduit le type d'accidents possibles (pas d'accident de dilution), réduit les volumes d'effluents liquides et solides (résines...), conforme à la directive européenne REACH qui interdit l'utilisation du bore, etc...
=> De **nombreux avantages neutroniques** à ne pas utiliser de bore soluble dans le modérateur
- **La présence de fuites neutroniques plus importantes que les grands cœurs est compensée par l'introduction d'un réflecteur radial lourd (en acier)**



3.2 Contribution CEA: Focus Thermohydraulique

Essais EVEREST



5

Cogénération / usages



Les usages de NUWARD SMR pour décarboner l'électricité, l'industrie, l'hydrogène

Usage électrogène :

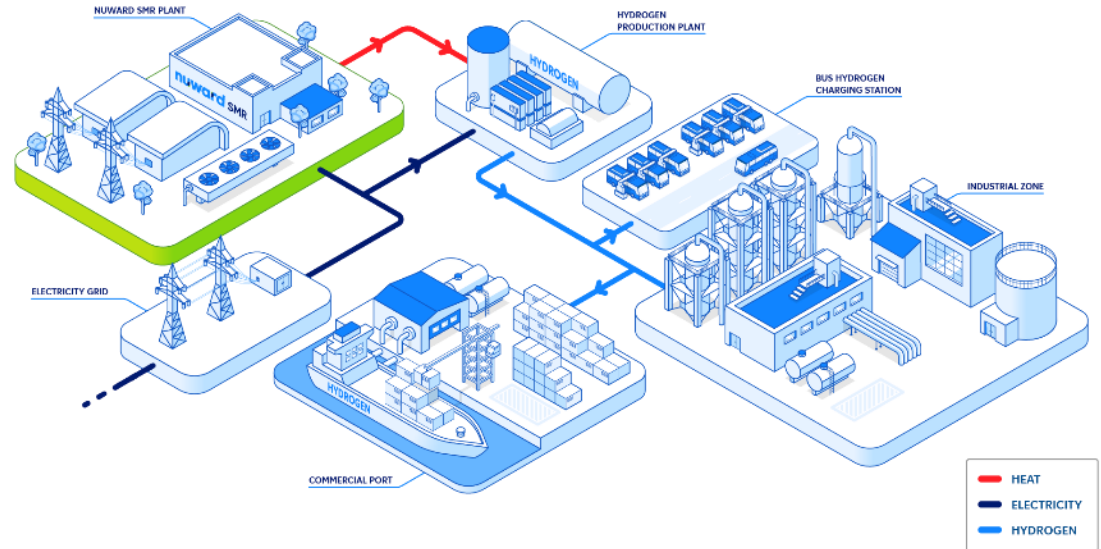
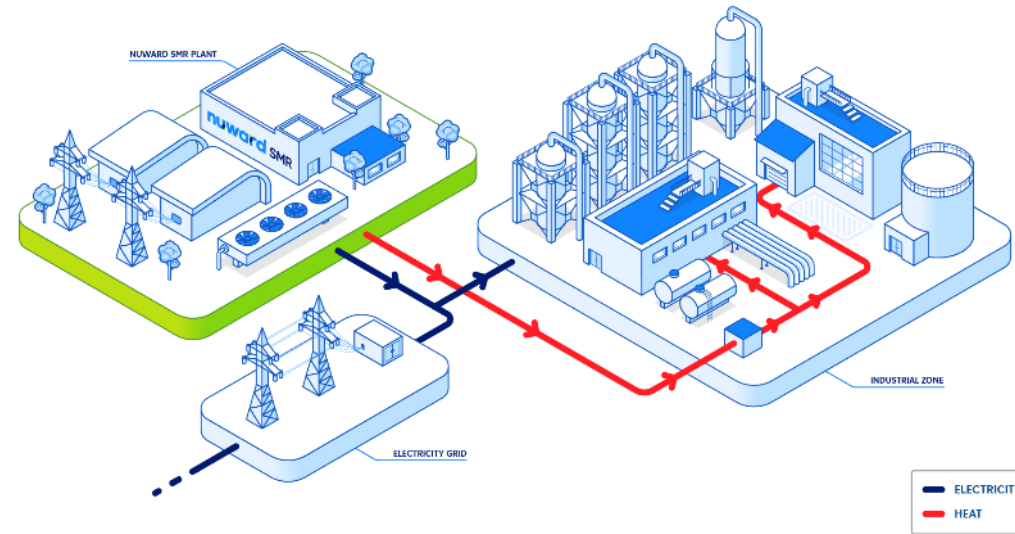
- 340 MW_e, 90% du temps, soit 2,7 TWh_e / an

Usage cogénération (urbain ou industriel) :
10% de la puissance délivrée sous forme de vapeur

- Dans un réseau ou vers un usage dédié

Usage production d'hydrogène :
Centrale couplée à un électrolyseur haute température (EHT)

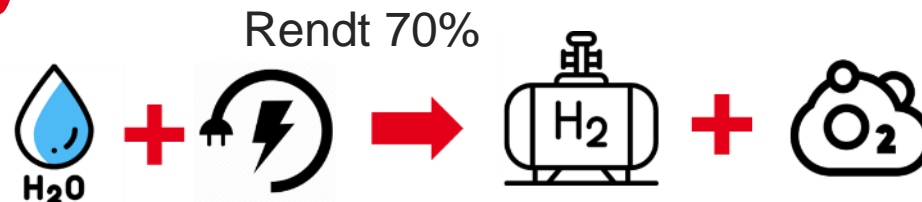
- Utilisation hybride de l'électricité et de la vapeur d'un NUWARD SMR
- Entre 160 et 190t d'hydrogène / jour



Produire H2 bas C par électrolyse

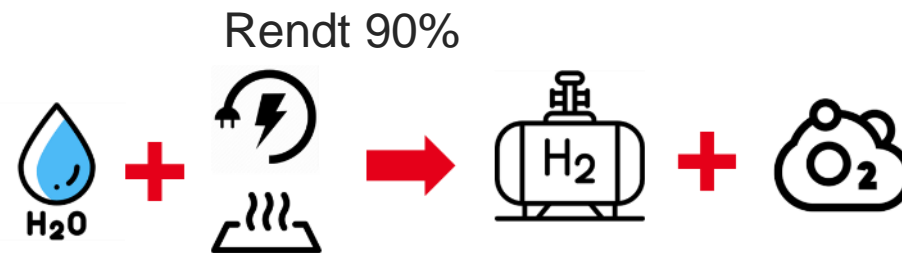
Electrolyse basse T° utilisant l'Electricité seule

- Pas de besoin en chaleur
- 2 technologies: **Alcaline** et **PEM**



Electrolyse haute T° (EHT) avec Chaleur et Electricité

- Rendement sur la consommation électrique plus élevé
- T° fonctionnement 600-800°C... mais besoin de chaleur pour faire de la vapeur (100°C)
- Procédé exothermique: la chaleur excédentaire va chauffer la vapeur (100°C -> 700°C)



➡ un SMR de type REP peut être couplé avec l'Electrolyse haute T°

Produire de l'hydrogène bas carbone

Couplage de 2 briques techno développées au CEA :

- SMR & système de conversion d'énergie
- Electrolyseur à Haute Température (GENVIA)

Enjeux Associés:

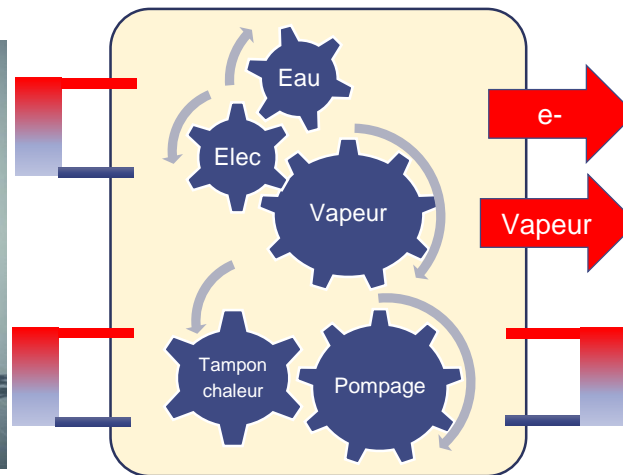
- Développement technologie EHT
- Optimisation du couplage énergétique



- Energie massive décarbonée
- Pilotable
- Cogénération : rendement maximisé



~500MWth
(170MWe)



Brique technologique
de couplage



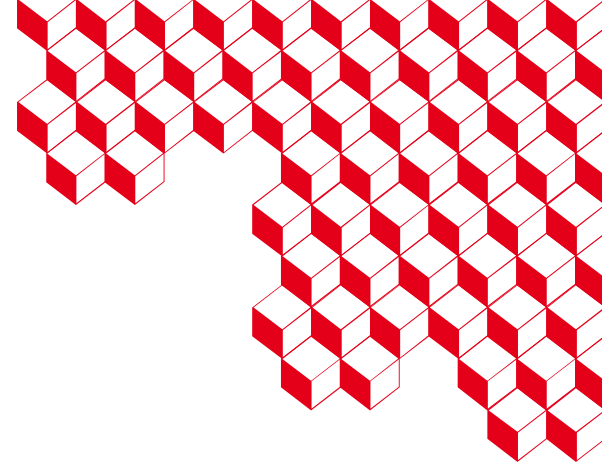
~100t / j



~20 000 pleins / j



~1200 pleins / j



**Merci pour votre attention.
Question ?**

